

MONITORING DAN EKSTRAKSI TiO_2 DARI PASIR MINERAL

(MONITORING AND EXTRACTION OF TiO_2 FROM MINERAL SAND)

Rahyani Ermawati, Siti Naimah dan Emmy Ratnawati

Balai Besar Kimia dan Kemasan, Kementerian Perindustrian
Jl. Balai Kimia No.1 Pekayon, Pasar Rebo, Jakarta Timur

E-mail : ermakyoto@yahoo.com

Received : 23 Agustus 2011; revised : 26 Agustus 2011; accepted : 3 Oktober 2011

ABSTRAK

Penelitian ini difokuskan pada karakterisasi senyawa yang terkandung dalam pasir mineral dan hasil ekstraksinya, serta besarnya kadar hasil ekstraksi TiO_2 yang didapatkan. Bahan baku pasir mineral diambil dari Pantai Pesisir, Yogyakarta dan Pandeglang, Jawa Barat. Pasir mineral dibersihkan dahulu dari unsur-unsur pengotornya, selanjutnya dilakukan proses *roasting* yaitu pengikatan pasir mineral yang paling banyak mengandung TiO_2 dengan natrium bikarbonat (Na_2CO_3) dengan variabel 1:1 dan 1:1.5 serta variabel suhu *roasting* 600 °C dan 750 °C, yang akan membentuk natrium titanit (Na_2TiO_3) dan natrium ferarit (Na_2FeO). Na_2TiO_3 yang terbentuk dilarutkan dalam air akan menjadi Na_2TiO_6 . Proses selanjutnya adalah pelarutan Na_2TiO_6 dalam HCl 2M membentuk endapan TiO_2 amorf, dimana pada kalsinasi suhu 550 °C akan terbentuk TiO_2 anastase dan rutil. Pasir mineral ilmenit dari Pandeglang-Jawa Barat mengandung TiO_2 sebesar 33,49%, dengan kandungan terbesar berupa Fe_2O_3 sebesar 58,29%, sisanya adalah pengotor. Setelah *roasting* hasil padatan dari perbandingan ilmenit dan Na_2CO_3 = 1:1 dilarutkan dalam air dan dikalsinasi pada suhu 600 °C dan 750 °C, masing - masing kandungan TiO_2 naik menjadi 47,48% dan 46,33%. Setelah dilarutkan dalam HCl dan dilakukan *roasting* pada suhu 750 °C kandungan TiO_2 optimum menjadi 64,62%.

Kata kunci : Pasir mineral, TiO_2 , Ekstraksi, Kalsinasi

ABSTRACT

This research is focused on the monitoring of mineral sand compound and content of TiO_2 extraction. The mineral sand material was obtained from Pantai Pesisir, Yogyakarta and Pandeglang, East Java. Previously, mineral sands were purified and then performed and binding mineral sand based TiO_2 with sodium bicarbonate (Na_2CO_3) at variable ratio 1:1 and 1:1.5, at roasting temperature of 600 °C and 750 °C to form sodium titanite (Na_2TiO_3) and sodium ferarite (Na_2FeO). Na_2TiO_6 was prepared by dissolving of Na_2TiO_3 in the water. The next process was dissolution of Na_2TiO_6 in HCl 2M to form sediment amorphous TiO_2 which formed TiO_2 anastase and rutil at calcination temperature of 550 °C. Mineral sand ilmenite from Pandeglang, East of Java contains 33.49% TiO_2 , with the highest component is Fe_2O_3 (58.29 %), the remaining was deterioration materials. After roasting, the sediment of ilmenite and Na_2CO_3 with the weight ratio of 1:1 wich dissolved in water and calcined at 600 °C and 750 °C. It produced an increasing TiO_2 content to 47.48% at 600 ° and 46.33 at 750 °C. After dissolved in HCl and roasting at 750 °C, the optimal weight of TiO_2 is to be 64.62%.

Key words : Mineral sand, TiO_2 , Extraction, Calcination

PENDAHULUAN

Permintaan akan titanium makin meningkat seiring dengan berjalannya waktu. Titanium digemari karena memiliki sifat unggul diantaranya ringan, kuat, tahan panas, tahan terhadap korosi serta memiliki biokompatibilitas yang tinggi terhadap tubuh. Sifat-sifat ini

digunakan lebih lanjut dalam memproduksi titanium menjadi produk siap pakai.

Di Indonesia, titan ditemukan pada endapan pasir besi dalam bentuk ilmenit (FeTiO_3), seperti yang terdapat di sepanjang pantai pulau Jawa, Lampung Selatan,

Bengkulu, Sulawesi Utara serta endapan alluvial di Kasongan, Kulonprogo-Yogyakarta, Kalimantan Tengah dengan kadar sekitar 8% TiO_2 . Disamping itu pasir mineral yang lain yang mengandung titanium yaitu titanomagnetit (Fe_2TiO_4), sehingga bahan baku ekstraksi titanium adalah ilmenit (FeTiO_3) dan titanomagnetit (Fe_2TiO_4). Selama ini bahan mineral tersebut belum dimanfaatkan secara maksimal dan diekspor dalam bentuk mentah atau dengan kata lain sumber daya alam tersebut masih belum ditingkatkan nilai tambahnya. Salah satu sifat unggul titanium yang menyulitkan saat pengolahan adalah ketahanannya terhadap temperatur tinggi.

Titanium dioksida (TiO_2) merupakan salah satu material metal oksida yang banyak dipelajari khususnya dalam aplikasinya pada bidang industri cat, kertas dan keramik. Di industri kemasan sebagai antibakteria pada kemasan. Di industri kimia yaitu sebagai katalis dan kosmetik. Di bidang lingkungan sebagai degradasi toksik organik, bidang energi sebagai *solar cell* energi, industri otomotif sebagai pelapis kaca anti UV (dapat menapis sinar ultra violet, karena sifatnya yang dapat menyerap sinar UV). Di industri kaca digunakan sebagai pelapis kaca anti debu (*self cleaning*) pada bangunan bertingkat, sedangkan paduan titanium banyak digunakan dalam industri penerbangan karena sifatnya yang ringan, kuat, dan tahan terhadap korosi. Kekuatan titanium menahan korosi lebih baik dari baja *stainless*. Selain tahan terhadap mineral asam dan gas klor, titanium juga tahan terhadap garam anorganik. Selain itu, produk titanium juga dipergunakan dalam bidang medis sebagai bahan pembuatan *implant* maupun peralatan kedokteran karena memiliki biokompatibilitas yang tinggi.

Titanium di alam umumnya berikatan dengan unsur lain dan memiliki kelimpahan dalam massa kerak bumi dan terdistribusi dalam bentuk mineral anastase, brokit, ilmenit, perovskit dan rutil. Diantara mineral yang mengandung titanium, hanya ilmenit (FeTiO_3) dan rutil (TiO_2) yang bernilai ekonomis. Ilmenit merupakan bahan baku utama pembuatan titanium murni setelah diolah terlebih dahulu menjadi rutil. Sementara rutil dapat langsung digunakan dalam dunia industri atau diolah menjadi titanium murni.

Untuk meningkatkan kadar titanium dioksida yang ada pada pasir besi sehingga dapat di jual ke pasaran dengan kemurnian relatif tinggi (sekitar 80% TiO_2), perlu dilakukan proses ekstraksi menggunakan cara hidrometalurgi atau proses pirometalurgi. Proses hidrometalurgi

dengan menggunakan bahan pelarut asam sulfat dan hasilnya dikalsinasi pada suhu tinggi untuk mendapatkan endapan serbuk titanium oksida. (Ahmad 2007)

BAHAN DAN METODE

Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain: pasir mineral dalam bentuk ilmenit (FeTiO_3) yang diambil dari Pesisir Pantai Jawa, PT Magasa Iron, Desa Trisik-Kulonprogo, Yogyakarta dan Pandeglang Jawa Barat, asam sulfat (H_2SO_4), NaOH, HCl, etanol (Merck), natrium bikarbonat, *dionization water*, air destilasi, KOH. Peralatan yang dipakai antara lain: pemanas listrik (*hot plate*), pengaduk magnet (*magnetic stirrer*), gelas Beaker kapasitas 2 L, cawan petri, termometer, kertas indikator pH, pH meter, oven, tanur, *X-Ray Fluorescence* (XRF).

Metode

Preparasi Awal

Preparasi awal meliputi pencucian, pengeringan dan penyaringan. Pencucian pasir mineral berguna untuk menghilangkan pengotor yang menempel seperti debu, tanah dan pengotor lainnya.

Pencucian dilakukan dengan menuangkan sejumlah akuades pada pasir mineral lalu mengaduk campuran tersebut selama 5 menit. Sesudah itu, akuades yang terdapat dalam campuran itu dibuang. Pencucian dengan akuades ini kemudian diulangi sekali lagi. Pasir mineral yang telah bersih dikeringkan di bawah sinar matahari. Sesudah pasir mineral kering, kemudian dilakukan penyaringan untuk menghilangkan pengotor yang tidak larut dalam akuades. Pengotor ini antara lain serpihan kayu dan batuan dengan ukuran dan batuan dengan ukuran yang besar.

Penghalusan

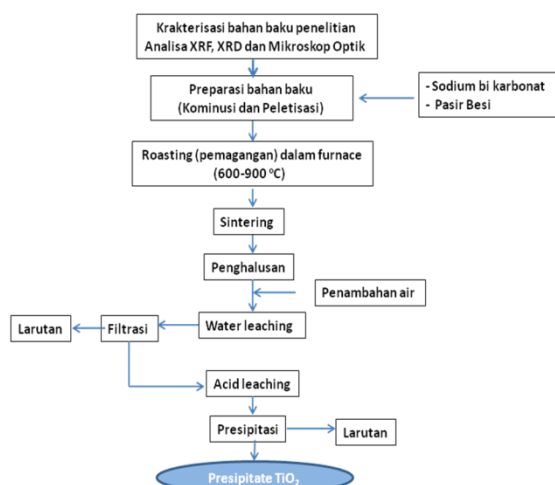
Penghalusan bertujuan memperoleh sampel dengan bentuk bubuk yang selanjutnya untuk memudahkan analisa *XRD* (*X-Ray Diffraction*) maupun *XRF* (*X-Ray Fluorescence*), disamping itu sampel dengan bentuk bubuk juga menguntungkan karena reaksi akan berjalan dengan lebih baik dengan hadirnya permukaan yang luas. Setelah dihaluskan pasir mineral yang telah dihaluskan dibuat menjadi bentuk pelet dengan penambahan sodium bikarbonat, dengan bantuan alat pencetak pelet.

Pemurnian (Ekstraksi)

Setelah pasir mineral yang mengandung titanium dicampur dengan sodium bikarbonat dan dibentuk menjadi bentuk pelet, proses selanjutnya adalah *roasting* yaitu proses pemanasan dalam tanur pada suhu 600 °C sampai 900 °C. Selanjutnya diteruskan dengan proses *sintering* yaitu pembakaran pada suhu tinggi. Setelah dilakukan pembakaran bahan campuran tadi lakukan penghalusan dan ditambahkan air (*water leaching*). Proses ekstraksi dilakukan pada pasir dengan prosentasi kandungan titanium yang tinggi. Pelarut HCl yang digunakan adalah HCl teknis dengan konsentrasi 2%. Adapun proses diagram alir ekstraksi terlihat pada Gambar 1.

Proses *acid leaching* dilakukan pada skala laboratorium dari *precipitated water leaching*. HCl dipanaskan di atas pemanas listrik pada suhu 90 °C sampai 110 °C sambil diaduk. Saat HCl mendidih, pasir dimasukkan, dan ditunggu hingga 40 menit. Setelah 40 menit, campuran tersebut diangkat dari atas pemanas listrik, lalu didiamkan 30 menit agar terjadi endapan, larutan yang tidak mengendap dibuang. Kemudian dilakukan penambahan HCl 2% sebanyak 50 mL, lalu sampel disentrifugasi pada kecepatan 2500 rpm selama 10 menit.

Setelah itu larutan yang tidak mengendap dibuang dan ekstrak dilarutkan kembali dengan 50 mL akuades. Sentrifugasi kembali dilakukan pada kecepatan 2500 rpm selama 10 menit. Larutan kembali dibuang, lalu ekstrak tersebut dikumpulkan dan dikeringkan. Pencucian yang dimaksud adalah pemurnian ekstrak menggunakan HNO₃ pekat (1,5 M). Pencucian dilakukan dengan menuangkan 5 mL HNO₃ untuk tiap gram sampel yang telah diendapkan.



Gambar 1. Diagram alir proses ekstraksi TiO₂

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisa Bahan Baku

Pasir mineral yang berbasis TiO₂ diambil dari Pandeglang, Jawa Barat dan Pesisir Pantai Jawa, PT. Magasa Iron, Desa Trisik-Kulonprogo, Yogyakarta. Setelah dilakukan pencucian, pengeringan dan penyaringan untuk memisahkan dari pengotor yang ada maka dilakukan analisa komposisi kandungan mineral yang ada dengan menggunakan alat XRF.

Hasil analisa komposisi kandungan bahan mineral pada pasir mineral untuk daerah Pandeglang, Jawa Barat disajikan pada Tabel 1, yang menunjukkan bahwa kandungan TiO₂ sangat tinggi yaitu sebesar 33,49%, disamping itu kandungan utama yang terbesar adalah Fe₂O₃ sebesar 58,29%, sedangkan sisa kandungan yang lain adalah pengotor yaitu SiO₂, Al₂O₃ dan lain sebagainya. TiO₂ yang diambil dari batuan di daerah Pandeglang, Jawa Barat mengandung TiO₂ sebesar 15,27%, Fe₂O₃ sebesar 70,36 %, dan sisa yang lainnya adalah pengotor. TiO₂ yang diambil dari sedimen di daerah Pandeglang, Jawa Barat mengandung TiO₂ sebesar 13,06%, SiO₂ 26,38% dan Fe₂O₃ 13,07%, sisa yang lainnya adalah pengotor.

Hasil analisa komposisi kandungan bahan mineral pada pasir mineral untuk daerah Pesisir Pantai Jawa, PT. Magasa Iron, Desa Trisik-Kulonprogo, Yogyakarta disajikan pada Tabel 2, yang menunjukkan bahwa kandungan TiO₂ sangat tinggi yaitu sebesar 6,51%, disamping itu kandungan utama yang terbesar adalah Fe₂O₃ sebesar 69,42%, sedangkan sisa kandungan yang lain adalah pengotor yaitu SiO₂, Al₂O₃ dan lain sebagainya.

Table 1. Hasil analisa komposisi kandungan bahan mineral di Pandeglang

No	Material	Konsentrasi (%)		
		Bahan pasir	Batuan	Sedimen
1	SiO ₂	3,93	6,5	26,38
2	Al ₂ O ₃	1	3,71	7,29
3	Fe ₂ O ₃	58,29	70,36	13,07
4	TiO ₂	33,49	15,27	13,06
5	MnO	0,89	0,4	0,61
6	MgO	1,63	0,76	0,4
7	CaO	0,51	0,17	10,96
8	K ₂ O	0,03	0,03	0,44
9	P ₂ O ₅	0,19	0,15	3,24
10	S	9 ppm	358 ppm	
11	Zn	383 ppm	385 ppm	

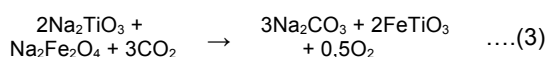
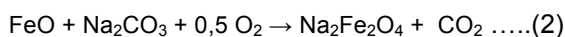
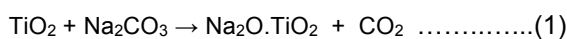
Table 2. Hasil analisa komposisi kandungan bahan mineral di Kulonprogo

No	Material	Konsentrasi	
1	SiO ₂	11,5	%
2	Al ₂ O ₃	4,78	%
3	Fe ₂ O ₃	69,42	%
4	TiO ₂	6,51	%
5	MnO	0,59	%
6	MgO	3,16	%
7	CaO	3,38	%
8	K ₂ O	0,25	%
9	P ₂ O ₅	0,34	%
10	Zn	655	ppm

Dari kedua tabel tersebut dapat disimpulkan bahwa kandungan TiO₂ yang terbesar didapat dari ilmenit yang berasal dari daerah Pandeglang, Jawa Barat dengan kandungan sebesar 33.49%, maka pasir ilmenit ini dipakai untuk proses selanjutnya yaitu ekstraksi untuk meningkatkan kandungan yang TiO₂.

Peningkatan Kadar Titania (TiO₂) Dari Bahan Baku Ilmenit (FeTiO₃)

Setelah pasir mineral dihaluskan kemudian pasir mineral dicampur dengan sodium bikarbonat (NaHCO₃). Adapun reaksi yang terjadi pada TiO waktu penambahan NaHCO₃ adalah sebagai berikut:



NaHCO₃ yang dipakai sebesar 1:1 dan 1:1,5, yaitu 1 bagian pasir ilmenit dan 1 atau 1,5 bagian NaHCO₃, dengan variabel suhu kalsinasi yaitu 600 °C dan 750 °C. Hasil analisa XRF setelah proses *water leaching* dilanjutkan dengan kalsinasi pada suhu 600 °C, dengan perbandingan sodium bikarbonat pasir ilmenit 1:1 disajikan pada Tabel 3.

Dari Tabel 3 terlihat setelah *water leaching* kandungan TiO₂ meningkat menjadi 47,48%, tetapi setelah proses *acid leaching* dan kalsinasi pada suhu 600 °C, kandungan TiO₂ menurun menjadi 5,3%. Setelah *water leaching* kandungan TiO₂ meningkat menjadi 46,33%, tetapi setelah proses *acid leaching* dan kalsinasi suhu 750 °C,

Tabel 3. Hasil analisa XRF proses ekstraksi pasir ilmenit dengan perlakuan pasir ilmenit sodium karbonat 1:1 dan suhu kalsinasi 600 °C

No	Unsur	Konsentrasi (%)	
		Water Leaching	Acid Leaching
1	Fe ₂ O ₃	31.18	5.11
2	TiO ₂	47.48	5.30
3	Na ₂ O	11.54	20.69
4	Nb ₂ O	0.15	0.71
5	Ta ₂ O ₃	TTD	TTD
6	WO ₃	TTD	TTD
7	P ₂ O ₅	0.02	0.02
8	Y ₂ O ₃	0.01	TTD
9	La ₂ O ₃	TTD	TTD
10	CeO ₂	0.12	0.13
11	Pr ₆ O ₁₁	TTD	TTD
12	Nd ₂ O ₃	TTD	TTD
13	Gd ₂ O ₃	TTD	TTD
14	Dy ₂ O ₃	TTD	TTD
15	Er ₂ O ₃	TTD	TTD
16	Yb ₂ O ₃	TTD	TTD
17	Lu ₂ O ₃	TTD	TTD
18	SnO ₂	0.41	0.73
19	ThO ₂	0.01	0.01
20	U ₃ O ₈	TTD	TTD
21	LOI	2.52	1.58

Tabel 4. Hasil analisa XRF proses ekstraksi pasir ilmenit dengan perlakuan pasir ilmenit sodium karbonat 1:1 dan suhu kalsinasi 750 °C

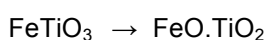
No	Unsur	Konsentrasi (%)	
		Water Leaching	Acid Leaching
1	Fe ₂ O ₃	30.31	21.63
2	TiO ₂	46.33	64.62
3	Na ₂ O	12.89	5.63
4	Nb ₂ O	0.14	1470
5	Ta ₂ O ₃	TTD	TTD
6	WO ₃	TTD	TTD
7	P ₂ O ₅	0.02	0.02
8	Y ₂ O ₃	0.02	TTD
9	La ₂ O ₃	TTD	TTD
10	CeO ₂	0.11	TTD
11	Pr ₆ O ₁₁	TTD	TTD
12	Nd ₂ O ₃	TTD	TTD
13	Gd ₂ O ₃	TTD	TTD
14	Dy ₂ O ₃	TTD	TTD
15	Er ₂ O ₃	TTD	TTD
16	Yb ₂ O ₃	TTD	TTD
17	Lu ₂ O ₃	TTD	TTD
18	SnO ₂	0.68	0.82
19	ThO ₂	0.01	TTD
20	U ₃ O ₈	TTD	TTD
19	LOI	1.65	4.70

kandungan TiO₂ menurun menjadi 64,62%, seperti terlihat pada Tabel 4. Dari Tabel 5, setelah *water leaching* kandungan TiO₂ meningkat menjadi 24,65%, tetapi setelah proses *acid leaching* dan kalsinasi pada suhu 750 °C, kandungan TiO₂ naik menjadi 55,99%.

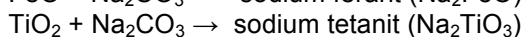
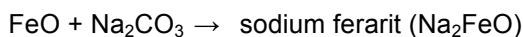
Hasil analisa *XRF* setelah proses *water leaching*, *acid leaching* dan kalsinasi yang disajikan pada ke-3 Tabel memperlihatkan bahwa kondisi perbandingan pasir ilmenit dan kalsium karbonat yang paling baik adalah 1:1 dengan suhu kalsinasi 750 °C, pada penelitian ini pasir ilmenit yang dipakai yang berasal dari Pandeglang. Kenaikan hasil ekstraksi TiO_2 diikuti dengan penurunan kandungan pasir besi menjadi 21,63%.

Dari penjelasan proses yang terjadi adalah sebagai berikut:

ilmenit ini tidak stabil sehingga mudah berubah menjadi $\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$



Roasting dengan Na_2CO_3 ,



Proses selanjutnya adalah proses *roasting* pengikatan pasir mineral yang paling banyak mengandung TiO_2 dengan sodium bikarbonate (Na_2CO_3) dengan variabel 1:1 dan 1:1,5 serta variabel suhu *roasting* 600 °C dan 750 °C, dimana akan membentuk sodium titanit (Na_2TiO_3) dan sodium ferarite (Na_2FeO).

Padatan hasil *roasting*

Water leaching,



Setelah Na_2TiO_3 dilarutkan dalam air akan membentuk Na_2TiO_6

Acid Leaching,



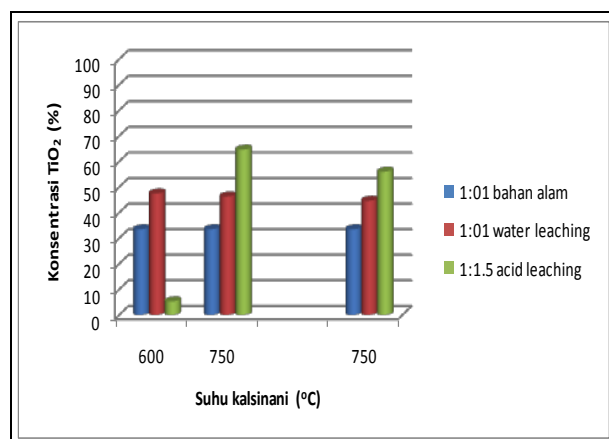
Proses selanjutnya adalah pelarutan Na_2TiO_6 dalam HCl 2M akan terbentuk endapan TiO_2 amorf,

TiO_2 (amorf) \rightarrow Anastase (550°C 2-4 jam) dan Rutile (550°C 8 jam).

Kandungan TiO_2 yang diambil dari Pandeglang, Jawa Barat dan setelah proses reaksi *water leaching* dan *acid leaching* dapat dilihat pada Gambar 2.

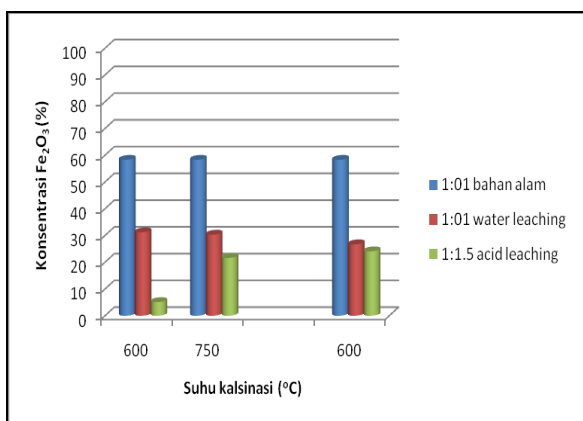
Tabel 5. Hasil analisa *XRF* proses ekstraksi pasir ilmenit dengan perlakuan pasir ilmenit sodium karbonat 1:1,5 dan duhu kalsinasi 750 °C

No	Unsur	Konsentrasi (%)	
		Water Leaching	Acid Leaching
1	Fe_2O_3	26.71	34.09
2	TiO_2	44.65	55.99
3	Na_2O	10.27	2.81
4	Nb_2O_5	600	690
5	Ta_2O_3	TTD	TTD
6	WO_3	TTD	TTD
7	P_2O_5	0.05	0.03
8	Y_2O_3	TTD	35
9	La_2O_3	TTD	TTD
10	CeO_2	TTD	1275
11	Pr_6O_{11}	TTD	TTD
12	Nd_2O_3	TTD	TTD
13	Gd_2O_3	TTD	TTD
14	Dy_2O_3	TTD	TTD
15	Er_2O_3	TTD	TTD
16	Yb_2O_3	TTD	TTD
17	Lu_2O_3	TTD	TTD
18	SnO_2	TTD	TTD
19	ThO_2	TTD	TTD
20	U_3O_8	TTD	TTD
19	LOI	0.85	0.82



Gambar 2. Pengaruh suhu kalsinasi terhadap konsentrasi TiO_2 dari bahan alam, setelah proses *water leaching* dan setelah proses *acid leaching*

Dari gambar tersebut memperlihatkan bahwa selama proses *water leaching* terjadi kenaikan konsentrasi TiO_2 , selanjutnya setelah proses *acid leaching* konsentrasi TiO_2 akan naik. Kondisi sebaliknya berlaku untuk Fe_2O_3 seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Pengaruh suhu kalsinasi terhadap konsentrasi Fe_2O_3 dari bahan alam, setelah proses *water leaching* dan setelah proses *acid leaching*

KESIMPULAN

Pasir mineral daerah Pandeglang, Jawa Barat mengandung TiO_2 33,49% sedangkan Fe_2O_3 sebesar 58,29%. Setelah proses *leaching water* kandungan TiO_2 dapat ditingkatkan menjadi 47,48%, sedangkan kandungan Fe_2O_3 turun menjadi 46,15%. Proses selanjutnya dengan *acid leaching* kandungan TiO_2 naik menjadi 64,62%. Kondisi optimum adalah pada perbandingan pasir ilmenit dan kalsium karbonat 1:1 dengan suhu 750 °C.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, A., Virgus Y., Nirmin dan Khairurrijal. 2008. Review: Sintesis Nanomaterial, *Jurnal Nanosains dan Nanoteknologi*, Vol. 1 (2).
- Anonim, 2008, *Roadmap Pengembangan Nanoteknologi Industri Berbasis Nanoteknologi*. Badan Penelitian dan Pengembangan Industri, Departemen Perindustrian.
- Fuad, A., dan Azmi T. 2007. Pemanfaatan Limbah Pertambangan Emas Kasongan untuk Menghasilkan Titanium Dioksida, *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*, 41 (15).
- Kim D. K., Han N. M., Lee B. J., Kim T. H. 2006. Formation And Characterization Of Ag-deposited TiO_2 Nanoparticles By Chemical Reduction Method. *Scripta Materialia*, (54) : 143-146.
- Maynard, A.D. 2004. *Nanotechnologies: Overview and Issues*, Report on Project

on Emerging Nano-technologies. Washington DC. USA.

- Stefchev P., Blaskov V., Machkova M., Vitanov P., Kozhukharov V. 2001. Synthesis and Characterization of High Dispersed TiO_2 . *International Journal Inorganic Materials* (3) : 531-536.
- Suslick S.K., Fang M.M., Hyeon T., Mdeleleni M.M. 1999. *Application of Sonochemistry to Material Synthesis, Sonochemistry and Sonoluminescence* : 291-320.
- Wilman, S. 2007. *Sintesa Nanopartikel Mesopori TiO_2 dengan Metode Sol-Gel*. Undergraduate Thesis, ITB.
- Yoshida, R., Suzuki Y., Yoshikawa S. 2005. Syntheses of TiO_2 (B) Nanowires and TiO_2 Anatase Nanowires by Hydrothermal and Post-Heat Treatments. *Jurnal of Solid State Chemistry*, (178) : 2179-2185.